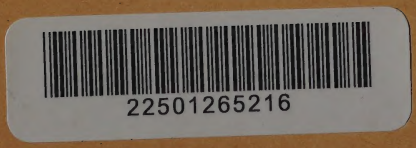
WELLCOME INSTITUTE LIBRARY
Coll. | wellOmec
Call No. | pam WL100 1910 F892

von Frey, M.

Zur Theorie der mechanischen Nervenerregung. Sitz-Ber. d. Phys.-Med. Gesellsch. zu Würzburg 1910

FREY



WELLCOME INSTITUTE LIBRARY
Coll. welMOmec
Call No. WL100 1910 F89z

Überreicht vom Verfasser.

Separat-Abdruck
aus den
Sitzungsberichten der Physikal.-med. Gesellschaft
zu
Würzburg. Jahrgang 1910.
Curt Kabitzsch (A. Stubers Verlag) in Würzburg.

(Nachdruck nur mit Genehmigung des Verlegers gestattet.)

M. von Frey: Zur Theorie der mechanischen Nervenerregung.

Mit 7 Figuren im Text.

Die Bedingungen für die Wirksamkeit des elektrischen Reizes auf das Nerv-Muskelpräparat sind soweit bekannt, dass sich auf Grund gewisser theoretischer Voraussetzungen für einzelne Reizarten der Erfolg voraussagen lässt. Im Gegensatze hierzu ist man bei dem mechanischen Reize nicht einmal darüber einig, auf welche Bestimmungsstücke oder Eigenschaften desselben es in erster Linie ankommt. *Tigerstedt*[1]) hat als Mass des Reizes die Arbeit genommen, die er an dem Nerven leistet, während nach *v. Uexküll*[2]) der Erfolg von der Geschwindigkeit der Einwirkung abhängt, oder, wie er sich ausdrückt, von der „Erschütterung" des Nerven. Es hat keine Schwierigkeit, die Einrichtung zur mechanischen Reizung so zu gestalten, dass sowohl die Grösse wie die Schnelligkeit der Deformation des Nerven messbar uud unabhängig voneinander veränderlich sind. Ich habe daher Herrn Dr. *Oinuma* aufgefordert, mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung die Bedeutung dieser beiden Variablen für den Reizerfolg zu prüfen[3]).

[1]) *Tigerstedt*, Studien über mechan. Nervenreizung, Helsingfors 1880.
[2]) *v. Uexküll* 1895, Zeitschr. f. Biologie **31**, 167.
[3]) Vgl. *Oinuma* 1909. Ebenda **53**, 303.

FREY

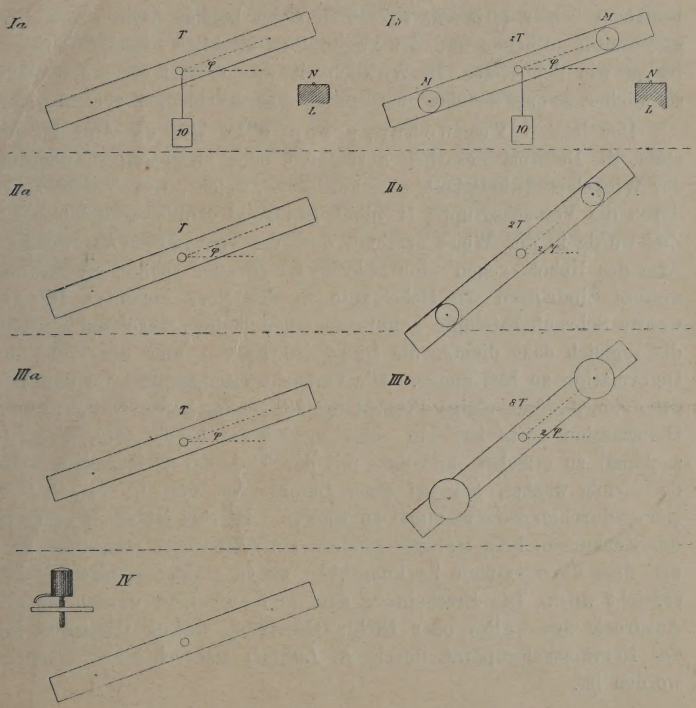
40411 202

Die Vorrichtung bestand aus einem leichten, auf der Kante stehenden Holzstreifen (T der Figur), durch dessen Mitte eine stählerne in Spitzen laufende Welle gesteckt war. Ein an der Welle angreifendes Gewicht von 10 (bzw. 5) g drehte den im übrigen äquilibrierten Hebel in der Richtung des Uhrzeigers, wobei er mit seiner Kante auf den Nerven N aufschlug, der auf der Leiste L ausgestreckt lag. Der Erfolg wurde durch die Zuckungshöhe des M. gastrocnemius gemessen. Der Fallwinkel φ des Hebels konnte durch Einstellung einer Arretierungsvorrichtung beliebig gewählt und an einer Gradteilung abgelesen werden. Nahe den Hebelenden und in gleichem Abstand von der Achse waren 2 Stifte durch den Holzstreifen gesteckt, auf welche zur Vergrösserung des Trägheitsmomentes schwere Massen, die Messingscheiben M der Figur, aufgesteckt werden konnten. Vier solcher in ihrer Masse sorgfältig abgeglichener Scheiben bildeten einen Satz; sie wurden symmetrisch sowohl zur Achse wie zur Fläche des Hebels verteilt, so dass dadurch der in die Achse fallende Schwerpunkt keine Verlagerung erfuhr.

Die verschiedenen Versuchsweisen sind durch die Abteilungen I—IV der Figur gekennzeichnet, die ebensovielen Versuchsgruppen entsprechen. In Gruppe I wurde bei stets gleichem Fallwinkel zwischen dem einfachen und doppelten Trägheitsmoment gewechselt (Ia und Ib). Hierdurch wird erreicht, dass der Nerv stets bis zu derselben Tiefe deformiert wird, die Deformationsarbeit also konstant bleibt, während der zeitliche Ablauf der Deformation verschieden ist. Setzt man die Winkelgeschwindigkeit, mit der die Hebelkante den Nerven trifft, bei dem Trägheitsmoment 2 T gleich 1, so ist sie bei dem Trägheitsmoment $T = \sqrt{2} = 1{,}41$. Diese Versuchsgruppe ergab ausnahmslos, dass das kleinere Trägheitsmoment oder was dasselbe ist, die grössere Winkelgeschwindigkeit wirksamer ist. Hierbei ist vorausgesetzt, dass Drehungsmoment und Fallwinkel so gewählt werden, dass für das Trägheitsmoment 2 T der Reiz untermaximal oder eben überschwellig ist.

In der Versuchsgruppe II wurden abwechselnd die Reize T, φ (IIa) und 2 T, 2 φ (IIb) gegeben (ausnahmsweise wurde auch zu 3 T, 3 φ übergegangen). Hierbei bleibt die Winkelgeschwindigkeit des Hebels im Augenblick des Auftreffens auf den Nerven konstant, die Deformationsarbeit ist dagegen verschieden und zwar im zweiten Falle (IIb) doppelt so gross als im ersten. Die Versuche ergaben in den meisten Fällen ein Überwiegen des stärker deformierenden Reizes, doch kamen auch Ausnahmen zur Beobachtung, in denen die

beiden Reize merklich gleich wirksam waren. Man darf daraus schliessen, dass zwar im allgemeinen der Reizerfolg mit der Deformation wächst, dass aber Änderungen dieser Grösse nicht so bedeutungsvoll sind wie die der Geschwindigkeit. Es muss übrigens bemerkt werden, dass in den beiden Fällen der vorliegenden Versuchs-



gruppe die Winkelgeschwindigkeiten des Hebels nur im Augenblick des Auftreffens auf den Nerven gleich sind, dass dagegen im Verlaufe des Eindringens in den Nerven das kleinere Trägheitsmoment eine stärkere Verzögerung erleiden muss. Die Absicht bei verschiedener Deformationsarbeit, die Deformationsgeschwindigkeit konstant zu halten, ist also auf diesem Wege nicht vollständig zu erreichen.

Die Versuchungsgruppe II sollte die aus I und III gezogene Folgerung noch weiter sicherstellen, dass nämlich Änderungen der

Deformationsgeschwindigkeit in bezug auf den Reizerfolg wirksamer sind als Änderungen der Deformationsarbeit. Zu dem Ende wurden abwechselnd die Reize T, φ und 8 T, 2 φ gegeben, wobei die Arbeit des zweiten Reizes das Doppelte, die Winkelgeschwindigkeit die Hälfte von der des ersten Reizes ist. Wäre die Erregung eine lineare Funktion beider Grössen, so müssten die beiden Änderungen sich gegenseitig aufheben und der zweite Reiz merklich dieselbe Wirkung haben wie der erste. In Wirklichkeit war er fast ohne Ausnahme schwächer, so dass die oben ausgesprochene Folgerung gerechtfertigt ist.

Der letzten Versuchungsgruppe IV war die Aufgabe gestellt, die Deformationsarbeit abzustufen, ohne gleichzeitige Änderung der Winkelgeschwindigkeit, eine Forderung, welche, wie oben erwähnt, durch die Versuchsgruppe II nicht genügend erfüllt erscheint. Das Ziel wurde in der Weise erreicht, dass der vom Nerven abgewendete Arm des Hebels gegen eine Mikrometerschraube schlug, welche das weitere Eindringen der Hebelkante in den Nerv hemmte. Die gewählte Schraubenstellung konnte an einer Teilung abgelesen werden, die zugleich dazu diente, die Dicke des Nerven und die Tiefe der Deformation zu bestimmen. Die Versuche ergaben übereinstimmend, dass eine gewisse, einige Prozent des Nervendurchmessers betragende Deformation nötig ist, um einen merklichen Erfolg (die Minimalzuckung) zu erzielen, und dass mit der Tiefe der Deformation auch der Erfolg wächst, um bei einer Deformation von $^1/_5$ bis $^1/_2$ des Nervendurchmessers maximal zu werden. Hierbei ist das Wachstum der Zuckungen kein stetiges, sondern ein stufenweise steigendes derart, dass die maximale Zuckungshöhe oft in einigen wenigen Stufen erreicht wird. Die Erscheinung darf wohl aufgefasst werden als der Ausdruck des „Alles oder Nichts-Gesetzes", dessen Gültigkeit für das Nervmuskelpräparat durch *K. Lucas*[1]) wahrscheinlich gemacht worden ist.

Man kann das Ergebnis der hier beschriebenen Versuche dahin zusammenfassen, dass zur Wirksamkeit eines mechanischen Nervenreizes nicht nur eine Deformationsarbeit, sondern auch eine Deformationsgeschwindigkeit von nicht zu kleinem Betrage nötig ist. Beide Grössen können sich innerhalb gewisser Grenzen gegenseitig vertreten, doch ist die Steigerung der Deformationsgeschwindigkeit wirk-

[1]) *K. Lucas* 1909 Journ. of Physiol. 38, 113.

samer als die der Deformationsarbeit. Es ist daher wahrscheinlich, dass schon sehr kleine Deformationen zu Erregung genügen, wenn sie mit entsprechender Geschwindigkeit vor sich gehen. Lässt man das Alles oder Nichts-Gesetz auch für die einzelnen Nervenfasern gelten, so ist der Schwellenreiz zugleich der maximale.

Diese Erfahrungen zeigen die Wirksamkeit des mechanischen Reizes abhängig von Bedingungen, die mit den für den konstanten elektrischen Strom gültigen grosse Ähnlichkeit haben, wenn man für Deformationsgrösse Stromstärke und für Deformationsgeschwindigkeit Anstiegsgeschwindigkeit setzt. Die Ähnlichkeit beruht vielleicht nur darauf, dass in beiden Fällen der Eingriff (der Schlag bzw. der Stromschluss) zu einer vorübergehenden Lockerung des Axoplasmas und zu einem Austausch von Ionen zwischen diesem und der umgebenden Flüssigkeit führt, ein Vorgang, der anscheinend die Vorbedingung für jede Art von Erregung darstellt.